



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Yasuhiro OMURA

Application No.:

Group Art Unit: Unassigned

Filed: February 22, 2001

Examiner: Unassigned

For: PROJECTION OPTICAL SYSTEM, PROJECTION EXPOSURE APPARATUS, AND
PROJECTION EXPOSURE METHOD

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s)
herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2001-049306

Filed: February 23, 2001

Japanese Patent Application No. 2001-254704

Filed: August 24, 2001

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the
requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: February 22, 2002

By: David M. Pitcher

David M. Pitcher

Registration No. 25,908

700 11th Street, N.W., Ste. 500
Washington, D.C. 20001

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

4242 406836 US
4242 今川 隆
JC828 U.S. PTO
10/079519
02/22/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2001年 2月23日

出 願 番 号
Application Number:

特願2001-049306

[ST.10/C]:

[JP2001-049306]

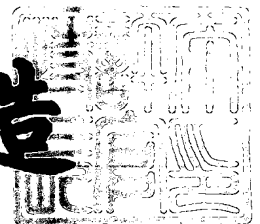
出 願 人
Applicant(s):

株式会社ニコン

2002年 2月 1日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3003313

【書類名】 特許願

【整理番号】 NKN01004

【提出日】 平成13年 2月23日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027
G03F 7/20521
G02B 13/14
G02B 1/02

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

【氏名】 大村 泰弘

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

【識別番号】 100095957

【弁理士】

【氏名又は名称】 亀谷 美明

【電話番号】 03-3226-6631

【選任した代理人】

【識別番号】 100096389

【弁理士】

【氏名又は名称】 金本 哲男

【電話番号】 03-3226-6631

【選任した代理人】

【識別番号】 100101557

【弁理士】

【氏名又は名称】 萩原 康司

【電話番号】 03-3226-6631

【選任した代理人】

【識別番号】 100096091

【弁理士】

【氏名又は名称】 井上 誠一

【電話番号】 03-3226-6631

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 040224

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影光学系、投影露光装置および投影露光方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 面の像を第 2 面上に投影する屈折型の投影光学系であって、

前記投影光学系は少なくとも 2 種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含み、

第 1 の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 1$ とし、第 2 の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 2$ とし、 $M \times 1$ が $M \times 2$ より大きいとき、

$$0.4 < M \times 2 / M \times 1 < 0.87$$

を満足することを特徴とする投影光学系。

【請求項 2】 前記第 1 の弗化物材料は弗化カルシウムであり、前記第 2 の弗化物材料は弗化バリウムであることを特徴とする請求項 1 に記載の投影光学系。

【請求項 3】 前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、

前記正レンズ成分は前記第 1 の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第 2 の弗化物材料で形成されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の投影光学系。

【請求項 4】 前記屈折型の投影光学系中の全てのレンズ成分は、前記少なくとも 2 種類の弗化物で形成されることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の投影光学系。

【請求項 5】 投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、

露光光を供給する光源と、

前記露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、

請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の投影光学系と、を有し、

前記第 1 面に前記投影原版を配置可能とし、前記第 2 面に前記基板を配置可能

としたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 6】 投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、

自然発振時に対して狭帯化された露光光を供給する狭帯化光源と、

前記狭帯化された露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、

前記投影原版からの露光光に基づいて前記パターンの像を前記基板上に結像する投影光学系と、を有し、

前記投影光学系は、少なくとも 2 種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含むことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 7】 前記投影光学系が含む屈折光学部材は、全て弗化物材料からなることを特徴とする請求項 6 に記載の投影露光装置。

【請求項 8】 前記少なくとも 2 種類の弗化物材料は弗化カルシウムおよび弗化バリウムであることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の投影露光装置。

【請求項 9】 前記少なくとも 2 種類の弗化物材料は、第 1 の弗化物材料と第 2 の弗化物材料とを含み、

前記第 1 の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 1$ とし、前記第 2 の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 2$ とし、 $M \times 1$ が $M \times 2$ より大きいとき、

$$0.4 < M \times 2 / M \times 1 < 0.87$$

を満足することを特徴とする請求項 6 乃至 8 の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 10】 前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、

前記正レンズ成分は前記第 1 の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第 2 の弗化物材料で形成されることを特徴とする請求項 9 に記載の投影露光装置。

【請求項 11】 前記狭帯化光源は、前記自然発振時に対する波長幅を半値全幅で $1/2$ 以下に狭帯化することを特徴とする請求項 6 乃至 10 の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 1 2】 前記狭帯化光源に F_2 レーザを用いることを特徴とする請求項 6 乃至 1 1 の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 1 3】 前記狭帯化光源は、自然発振時に対して狭帯化された光を発振する発振器と、前記発振器からの前記光の出力を増幅させる増幅器とを有することを特徴とする請求項 6 乃至 1 2 の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 1 4】 前記狭帯化光源は、半値全幅で 0. 3 μm 以下の波長幅の露光光を供給することを特徴とする請求項 6 乃至 1 3 の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 1 5】 前記少なくとも 2 種類の弗化物材料は、弗化カルシウム、弗化バリウム、弗化リチウム、弗化マグネシウム、弗化ストロンチウム、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライドからなるグループから選択された 2 種類の材料であることを特徴とする請求項 6 乃至 1 4 の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 1 6】 投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光方法であって、

請求項 6 乃至 1 5 に記載の投影露光装置を用い、

前記投影光学系を介して前記パターンの像を前記基板上に形成することを特徴とする投影露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば半導体集積回路、CCD等の撮像素子、液晶ディスプレイ、または薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ技術を用いて製造する際に用いられる投影露光装置及び方法、該投影露光装置に好適な投影光学系に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトリソマスクまたはレチクル（以下、まとめてレチクルという）のパターン像を、投影光学

系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウエハまたはガラスプレート等（以下、まとめてウエハという）上に露光する投影露光装置が使用されている。半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置に使用されている投影光学系に要求される解像力は益々高まっている。

【 0 0 0 3 】

一般に、光学系の分解能 R は $R a y l e i g h$ の式から以下のように表される。

$$R = k \cdot \lambda / N A$$

ここで、 λ は露光波長、 $N A$ は投影光学系の像側開口数、 k はレジストの解像力等によって決まる定数である。上式から明らかなように、解像力を向上させるには露光光の波長を短くし、且つ $N A$ を大きくすればよい。このことより、露光光源としては、従来主に使用されていた水銀ランプの i 線（波長：365 nm）に代わって $K r F$ エキシマレーザ（波長：248 nm）が主流となっており、さらに、それよりも短波長の $A r F$ エキシマレーザ（波長：193 nm）も実用化されつつある。また、さらなる露光光の短波長化を目的として、 F_2 レーザ（波長：157 nm）等が用いられようとしている。

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、 $N A$ を大きくすると、焦点深度が浅くなる。そのため、投影光学系にはさらに厳しい色収差補正が要求される。また、レジスト等の周辺技術の改良によって前述の k の値が小さくなってきている。このため、わずかな露光量誤差や収差が解像力に大きく影響するようになり、色収差もさらに小さくする必要がある。

【 0 0 0 5 】

そこで、露光光を狭帯化することが考えられ、狭帯化された露光光を用いた露光装置が提案されている。しかし、従来提案されているこの種の露光装置では、投影光学系の屈折光学部材は単一材料で構成されていた。このため、色収差の補正に限界があり、現在要求されているレベルの高解像を満たせなくなっている。また、狭帯化は難易度が高く、単一材料からなる投影光学系で所望の色収差

補正を得るまで、狭帯化を進めることは困難である。よって、投影光学系を構成する光学部材に複数種類の材料を用いて、さらに色収差補正を向上させることが望まれていた。

【0006】

ところで、 F_2 レーザを光源に用いた場合、色収差補正効果があり、十分な透過率が期待でき、また加工性や耐久性に大きな問題のない材料は、限られたものになる。現時点で上記条件を満たす材料としては、弗化カルシウムと弗化バリウムの組み合わせにほぼ限定される。しかしながら、弗化バリウムは比重が大きく、均質性の良い材質を作ることが困難であり、また水に対する溶解度も高いため加工性も良いとはいえない。これらのことから、色収差補正のために弗化バリウムの使用量が増えるとコスト増大につながるという問題があった。

【0007】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、高コスト化を招くことなく、良好に色収差補正され、微細なパターンを高解像に投影可能な投影光学系を提供することにある。また、本発明の別の目的は、極めて微細化された投影原版のパターンの像を基板に良好に投影露光し得る投影露光装置及び投影露光方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明に係る投影光学系は、第1面の像を第2面上に投影する屈折型の投影光学系であって、前記投影光学系は少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含み、第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 1$ とし、第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 2$ とし、 $M \times 1$ が $M \times 2$ より大きいとき、

$$0.4 < M \times 2 / M \times 1 < 0.87$$

を満足するものである。

【0009】

本発明の投影光学系の好ましい態様においては、前記第1の弗化物材料は弗化

カルシウムであり、前記第 2 の弗化物材料は弗化バリウムである。本発明の投影光学系の好ましい態様においては、前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、前記正レンズ成分は前記第 1 の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第 2 の弗化物材料で形成される。また、本発明の投影光学系の好ましい態様においては、前記屈折型の投影光学系中の全てのレンズ成分は、前記少なくとも 2 種類の弗化物で形成される。

【 0 0 1 0 】

上記課題を解決するために、本発明に係る投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、露光光を供給する光源と、前記露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、上記記載の投影光学系と、を有し、前記第 1 面に前記投影原版を配置可能とし、前記第 2 面に前記基板を配置可能とするものである。

【 0 0 1 1 】

また、上記課題を解決するために、本発明に係る投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、自然発振時に対して狭帯化された露光光を供給する狭帯化光源と、前記狭帯化された露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、前記投影原版からの露光光に基づいて前記パターンの像を前記基板上に結像する投影光学系と、を有し、前記投影光学系は、少なくとも 2 種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含む。

【 0 0 1 2 】

本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系が含む屈折光学部材は、全て弗化物材料からなる。本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも 2 種類の弗化物材料は弗化カルシウムおよび弗化バリウムである。

【 0 0 1 3 】

本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも 2 種類の弗化物材料は、第 1 の弗化物材料と第 2 の弗化物材料とを含み、前記第 1 の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 1$ とし、前記第 2 の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効

径を $M \times 2$ とし、 $M \times 1$ が $M \times 2$ より大きいとき、

$$0.4 < M \times 2 / M \times 1 < 0.87$$

を満足する。本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、

前記正レンズ成分は前記第1の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第2の弗化物材料で形成される。

【0014】

本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記狭帯化光源は、前記自然発振時に対する波長幅を半値全幅で $1/2$ 以下に狭帯化する。本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記狭帯化光源に F_2 レーザを用いる。また、本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記狭帯化光源は、自然発振時に対して狭帯化された光を発振する発振器と、前記発振器からの前記光の出力を増幅させる増幅器とを有する。本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記狭帯化光源は、半値全幅で 0.3 pm 以下の波長幅の露光光を供給する。なお、狭帯化光源は、半値全幅で 0.2 pm 以下の波長幅の露光光を供給することがさらに好ましい。

【0015】

本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類の弗化物材料は、弗化カルシウム、弗化バリウム、弗化リチウム、弗化マグネシウム、弗化ストロンチウム、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライドからなるグループから選択された2種類の材料である。

【0016】

また、上記課題を解決するために、本発明に係る投影露光方法は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光方法であって、上記記載の投影露光装置を用い、前記投影光学系を介して前記パターンの像を前記基板上に形成する。

【0017】

【発明の実施の形態】

上述のように、本発明の投影光学系は、少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含み、第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 1$ とし、第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 2$ とし、 $M \times 1$ が $M \times 2$ より大きいとき、

$$0.4 < M \times 2 / M \times 1 < 0.87 \quad (1)$$

を満足する構成をとる。

【0018】

かかる構成によれば、投影光学系のレンズ成分として少なくとも2種類の弗化物を用いているため、異なる分散を持つ材料で屈折光学部材が構成されることになり、良好な色収差の補正が実現できる。(1)式は、光学部材の均質性を良くすることが難しく、径の大きなレンズが作りにくいことを考え、光学性能を維持した上でのレンズの有効径を規定したものである。(1)式の下限を越えると十分な色収差補正が難しく、上限を超えると材料によってはレンズの製造が困難となる。さらに好ましくは下限が0.5、上限が0.84となる。

【0019】

なお、上式において、第1の弗化物材料を弗化カルシウム、第2の弗化物材料を弗化バリウムとすることが好ましい。弗化カルシウムおよび弗化バリウムは F_2 レーザを光源とした際に、色収差補正効果があり、十分な透過率が期待できる材料である。弗化バリウムは高い均質性を得ることが難しく、大径レンズを製造することが困難な材料であるため、より小径のレンズに弗化バリウムを用いて色収差補正を行うことが好ましい。これより、製造が容易になり、高コスト化を抑制できる。

【0020】

また、前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、前記正レンズ成分は前記第1の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第2の弗化物材料で形成されることが好ましい。これより異なる分散を持つ材料で正レンズ成分と負レンズ成分とを形成することができ、より良好な色収差の補正が実現できる。また、一般に色収差補正上、分散が小さい材料を正レンズ成分に

用い、分散が大きい材料を負レンズ成分に用いることが好ましい。この点から、弗化カルシウム及び弗化バリウムを使用材料とする時は、正レンズ成分を弗化カルシウム、負レンズ成分を弗化バリウムで構成することが好ましく、これより、第1の弗化物材料を弗化カルシウム、第2の弗化物材料を弗化バリウムで構成することが好ましい。この第1、第2弗化物材料に対する弗化カルシウム、弗化バリウムの振り分けは、上述の(1)式を考慮した時のものと一致している。すなわち、第1の弗化物材料を弗化カルシウム、第2の弗化物材料を弗化バリウムとして、上記の条件を満たすように構成することで、製造上も、また色収差補正上も良好な効果が得られる。

【0021】

また、前記屈折型の投影光学系中の全てのレンズ成分は、前記少なくとも2種類の弗化物で形成されることが好ましい。弗化物は波長が200nm以下の光に対して十分な透過率を有するので、投影光学系中の屈折光学部材の露光光の吸収を実質上影響がない程度に低減できる。また、合成石英をレンズ材料とした場合には、露光光の吸収による照射変動の発生が見られるが、弗化物を材料とすれば、このようなことは回避できる。そして、これらのことより、F₂レーザに対応可能な色収差が補正された光学系を実現できる。

【0022】

また、本発明の投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、露光光を供給する光源と、前記露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、上記記載の投影光学系と、を有し、前記第1面に前記投影原版を配置可能とし、前記第2面に前記基板を配置可能とする構成をとる。上述のように良好に色収差補正された投影光学系を有する投影露光装置によって、極微細の投影原版のパターンの像を基板上に高解像に投影露光することができる。

【0023】

また、本発明の投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、自然発振時に対して狭帯化された露光光を供給する狭帯化光源と、前記狭帯化された露光光を前記投影原版へ導く照明光

学系と、前記投影原版からの露光光に基づいて前記パターンの像を前記基板上に結像する投影光学系と、を有し、前記投影光学系は、少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含む構成をとる。

【0024】

投影光学系が少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含むため、良好に色収差補正できる。さらに、狭帯化された露光光を用いることにより、よりいっそう高い色収差補正効果が得られる。これにより、極微細の投影原版のパターンの像を基板上により高解像に投影露光することができる。投影光学系には、例えば、上述の本発明の投影光学系を適用することができる。

【0025】

ここで、前記狭帯化光源は、前記自然発振時に対する波長幅を半値全幅で1/2以下に狭帯化することが好ましい。これにより、色収差補正のために使用される材料、例えば弗化バリウムの使用量を少なくしても、十分な色収差補正効果を得ることができる。よって、高コスト化を招くことなく、良好に色収差補正された投影露光装置を実現できる。また、前記狭帯化光源にF₂レーザを用いることが好ましい。波長の短いF₂レーザを光源に用いることにより、高解像にパターンの像を基板上に結像することが可能となる。

【0026】

また、前記狭帯化光源は、自然発振時に対して狭帯化された光を発振する発振器と、前記発振器からの前記光の出力を増幅させる増幅器とを有することが好ましい。狭帯化の際に光の出力が低下しても、増幅器を用いて光を増幅することにより実用的な光出力を得ることができる。増幅手段としては後で詳述するようにMOPA(Master Oscillator and Power Amplifiers)方式や特開2001-24265に開示されているインジェクションロック方式等の公知技術を用いることができる。

【0027】

また、前記狭帯化光源は、半値全幅で0.3 pm以下の波長幅の露光光を供給することが好ましい。なお、前記狭帯化光源は、半値全幅で0.2 pm以下の波長幅の露光光を供給することがさらに好ましい。狭帯化を進めることにより、色

収差補正効果が向上し、より高解像にパターンの像を形成することができる。

【0028】

また、本発明の露光方法は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光方法であって、上記記載の投影露光装置を用い、前記投影光学系を介して前記パターンの像を前記基板上に形成する。これにより、微細なパターンを良好に基板上に形成することができる。

【0029】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1～図3は本発明の第1～第3の実施の形態に係る投影光学系PLの光路図である。図1～図3に示す投影光学系は、第1面としてのレチクルR上のパターン像の縮小像を第2面としてのウエハW上に投影する屈折型の投影光学系であり、内部に開口絞りASを含む。

【0030】

以下は、本発明にかかる投影光学系PLの数値実施例である。

[第1実施例]

図1は第1実施例の投影光学系PLの光路図である。本実施例の投影光学系PLは、 F_2 レーザが供給する光の波長 157.62 nm を基準波長としたものであり、基準波長に対してFWHM (full width at half maximum, 半値全幅) 0.25 pm の範囲で色収差補正を行っているものである。投影光学系PLは全部で23枚のレンズL101～L123を有し、全てのレンズが弗化物材料で形成されている。光路図に示すように、投影光学系PLは第1面と第2面との中間部近傍で光線高が顕著に低くなり、レンズの有効径が小さくなる傾向を有し、この部分に配置された4枚の負レンズL109, L110, L111, L113は弗化バリウム (BaF_2) で形成されている。そして、これら負レンズの間に位置する正レンズL112, 及びその他のレンズは弗化カルシウム (CaF_2) で形成されている。

【0031】

第1実施例にかかる投影光学系PLの諸元値を表1に示す。表1において、NはウエハW側の開口数、 ϕ はウエハW面上でのイメージサークルの直径、 β は

投影光学系全体の倍率、 d_0 は第1面（レチクル面）から最も第1面側の光学面までの距離、 WD は最も第2面（ウエハ面）側の光学面から第2面までの距離を示す。表1のレンズ番号は図1に示したレンズ $L_{101} \sim L_{123}$ に対応する。表1は、左列から順にレンズ番号、各レンズの前面の曲率半径、後面の曲率半径、光軸上間隔、材料を示す。ここで、各レンズのレチクル R 側に向いた面を前面、ウエハ W 側に向いた面を後面としている。前面の曲率半径で正符号のものは凸面、負符号のものは凹面であり、後面の曲率半径で正符号のものは凹面、負符号のものは凸面である。 $A(1) \sim A(7)$ は非球面を意味し、 $APERTURE STOP$ は開口絞りを意味する。

【0032】

各面の非球面データを表2に示す。非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を Z とし、頂点の曲率半径を r とし、円錐係数を K とし、 n 次の非球面係数を $A \sim F$ としたとき、以下の数式で表される。表2中の $CURV = 1/r$ である。

$$Z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + K) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + A \cdot y^4 + B \cdot y^6 \\ + C \cdot y^8 + D \cdot y^{10} + E \cdot y^{12} + F \cdot y^{14}$$

ここで、本実施例の諸元値における曲率半径、間隔の単位の一例として mm を用いることができる。基準波長 157.62 nm における弗化カルシウムの屈折率は 1.5593067 であり、弗化バリウムの屈折率は 1.65669 である。本実施例において、弗化カルシウムの 1 pm 当たりの屈折率の変化量である分散 $dn/d\lambda$ は $-2.606 \times 10^{-3}/\text{nm}$ であり、弗化バリウムの 1 pm 当たりの屈折率の変化量である分散 $dn/d\lambda$ は $-4.376 \times 10^{-3}/\text{nm}$ である。なお、 1 pm 当たりの屈折率の変化量である分散 $dn/d\lambda$ の値が正であるとは、波長 λ が長くなるにつれて屈折率 n も上昇することを意味し、この分散 $dn/d\lambda$ の値が負であるとは、波長 λ が長くなると屈折率 n が低下することを意味する。

【0033】

【表 1】

NA=0.845

 $\phi=22.6$ $\beta=1/4$

d 0=47.6439

WD=9.5687

レンズ番号	曲率半径		間隔	材料
	前面	後面		
L101	-2380.0509	A(1)	13.6278 26.7024	CaF2
L102	-110.0000	4921.0571	13.1129 11.7166	CaF2
L103	A(2)	-180.1654	60.0000 1.0000	CaF2
L104	2763.8810	-305.5742	40.2373 1.0000	CaF2
L105	365.9755	-5893.0378	50.0000 10.0000	CaF2
L106	260.0000	634.6682	36.2143 59.6148	CaF2
L107	230.7010	962.5981	37.3370 1.0000	CaF2
L108	A(3)	1417.9856	41.7384 1.9957	CaF2
L109	1636.2819	104.2342	40.4438 34.3630	BaF2
L110	A(4)	283.6735	13.0000 95.9901	BaF2
L111	-115.5481	-5134.1160	42.0000 1.0000	BaF2
L112	2326.7317	-135.1195	50.0000 1.0000	CaF2
L113	-148.1207	A(5)	18.0000 1.0000	BaF2
L114	486.1650	-290.6419	48.9796 1.0000	CaF2
L115	A(6)	-340.4681	25.8916 4.2050	CaF2
L116	623.2663	-625.1668	38.9621 6.6653	CaF2
APERTURE STOP				
L117	632.1950	-336.2637	37.7977 50.8672	CaF2
L118	-240.4745	-411.3026	13.0123 28.0000	CaF2
L119	2382.1181	-569.5006	1.0000 45.7518	CaF2
L120	491.6154	∞	1.0000 30.2350	CaF2
L121	141.6068	A(7)	1.0000 40.8667	CaF2
L122	204.7140	738.2331	1.0000 35.0066	CaF2
L123	105724.5915	5041.4655	3.9920 49.2429	CaF2

【0034】

【表 2】

面番号	CURV C	K D	A E	B F
A (1)	0.00582249 -3.82324E-16	0.000000 -3.15101E-20	-2.25213E-07 1.60874E-23	8.54919E-12 -1.69016E-27
A (2)	-0.00366745 1.78167E-17	0.000000 -4.58342E-22	2.68956E-08 3.21583E-25	-3.37112E-13 9.53761E-30
A (3)	0.00654852 -5.61817E-17	0.000000 -2.72147E-21	-2.51687E-08 -5.27629E-26	-1.08919E-12 -8.03358E-30
A (4)	-0.00588534 2.26212E-18	0.000000 1.31053E-20	3.89418E-08 -2.44777E-24	5.78717E-12 3.24750E-28
A (5)	0.00076603 -1.75786E-17	0.000000 5.50364E-22	3.00381E-08 -2.07928E-27	-1.09620E-13 1.60157E-31
A (6)	-0.00052122 -8.33925E-18	0.000000 1.08673E-22	-2.43407E-08 -7.98530E-27	5.96396E-14 2.37943E-31
A (7)	0.00268652 -5.41906E-17	0.000000 -6.50095E-21	-4.48251E-08 6.54955E-25	2.92295E-12 -2.00191E-29

【 0 0 3 5 】

条件式対応値は以下のとおりである。

$$M \times 2 / M \times 1 = 214 / 272 = 0.787$$

【 0 0 3 6 】

図 4 に、第 1 実施例の投影光学系の子午方向 (T A N G E N T I A L 方向) 及び球欠方向 (S A G I T A L 方向) における横収差 (コマ収差) を示す。図において、Y は像高を表わし、Y = 0, Y = 5.65, 及び最大像高の Y = 11.3, の 3 つの点における収差を示す。図中、実線は波長 157.62 nm, 点線は基準波長 + 0.25 pm, 一点鎖線は基準波長 - 0.25 pm での収差をそれぞれ示している。各収差図より明らかとなお、本実施例の投影光学系は、像高 0 から最大像高までの領域において、良好な収差補正がなされ、FWHM 0.25 pm という波長範囲において良好に色収差補正が達成されている。

【 0 0 3 7 】

よって、本実施例によれば、弗化バリウムからなる有効径が小さいレンズを効果的に配置することにより、良好な色収差補正効果が得られると共に、弗化バリウムの使用量を極力少量とすることで、製造コストの抑制という効果も得ることができる。本実施例の投影光学系を露光装置に組み込んだ場合には、極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。本実施例の投影光学系は直径 22.6 の円形イメージフィールドを有するので、このイメージフィールド内で例えば走査方向の幅約 5、走査直交方向の幅約 22 の長形状の露光領域を確保することが可能である。なお、像高、イメージフィールドの単位は、表 1 および 2 において曲率半径、間隔の単位として mm を採用した場合には mm である。

【0038】

〔第 2 実施例〕

図 2 は第 2 実施例の投影光学系 PL の光路図である。本実施例の投影光学系 PL は、 F_2 レーザが供給する光の波長 157.62 nm を基準波長としたものであり、基準波長に対して FWHM (full width at half maximum, 半値全幅) 0.2 pm の範囲で色収差補正を行っているものである。投影光学系 PL は全部で 25 枚の中のレンズ L201 ~ L225 を有し、全てのレンズが弗化物材料で形成されている。光路図に示すように、投影光学系 PL は第 1 面と第 2 面との中間部近傍で光線高が顕著に低くなり、レンズの有効径が小さくなる傾向を有し、この部分に配置された 5 枚の負レンズ L211, L212, L213, L214, L216 は弗化バリウム (BaF_2) で形成されている。そして、これら負レンズの間に位置する正レンズ L215、及びその他のレンズは弗化カルシウム (CaF_2) で形成されている。

【0039】

第 2 実施例にかかる投影光学系 PL の諸元値を表 3 に示す。表 3 のレンズ番号は図 2 に示したレンズ L201 ~ L225 に対応する。各面の非球面データを表 4 に示す。表 3、表 4 において各記号、各係数の定義は上述の実施例 1 のものと同じである。ここで、本実施例の諸元値における曲率半径、間隔の単位の一例として mm を用いることができる。

【0040】

【表 3】

N A = 0.845

 $\phi = 22.6$ $\beta = 1/4$

d 0 = 48.2872

W D = 10.2240

レンズ番号	曲率半径		間隔	材料
	前面	後面		
L201	657.3524	-224.0596	23.8362 1.0015	CaF2
L202	234.4929	A(1)	16.9691 5.1384	CaF2
L203	-983.1117	188.1002	15.1248 16.6472	CaF2
L204	-222.6517	A(2)	15.0000 35.2367	CaF2
L205	-101.9787	-200.0698	18.8602 1.3585	CaF2
L206	-200.0000	-182.7643	35.6248 0.8522	CaF2
L207	-20993.7187	-197.8931	52.8709 4.6781	CaF2
L208	371.5257	-856.4055	52.3778 2.2677	CaF2
L209	260.0000	-24434.3105	47.0873	CaF2
L210	142.5276	820.9520	52.7398 4.4585	CaF2
L211	1963.2560	156.7628	15.0914 22.1711	BaF2
L212	A(3)	102.2461	24.9355 36.6848	BaF2
L213	-136.6655	701.6293	44.0306 21.1006	BaF2
L214	-248.2828	A(4)	24.2178 1.1184	BaF2
L215	877.4376	-128.5042	56.6143 2.2257	CaF2
L216	-142.4514	A(5)	15.3692 8.5287	BaF2
L217	1531.1511	-323.8663	37.2959 1.0000	CaF2
L218	650.2450	-294.6130	57.2798 5.4385	CaF2
APERTURE STOP				
L219	830.6787	-293.4513	13.0000 55.5622	CaF2
L220	-261.8784	-559.8408	5.3586 25.4887	CaF2
L221	428.7719	3466.1346	24.3154 40.0000	CaF2
L222	319.6772	2065.0720	0.8496 40.0000	CaF2
L223	210.5081	A(6)	1.5857 28.0301	CaF2
L224	126.5438	802.7599	13.6556 42.5905	CaF2
L225	∞	∞	3.8617 60.0000	CaF2

【0 0 4 1】

【表 4】

面番号	CURV C	K D	A E	B F
A (1)	0. 00200000 5. 91607E-17	0. 000000 3. 16405E-20	-8. 79898E-08 -7. 36952E-24	3. 59244E-12 8. 11124E-28
A (2)	0. 00688622 1. 54804E-16	0. 000000 -4. 19179E-20	-8. 95806E-08 3. 12122E-24	-2. 30112E-12 -9. 01202E-29
A (3)	0. 00075022 -1. 04523E-16	0. 000000 -2. 45661E-20	-2. 62649E-08 2. 52084E-24	4. 38764E-12 -1. 05467E-28
A (4)	-0. 00140493 -1. 28836E-17	0. 000000 -5. 92171E-21	3. 27267E-08 -4. 93099E-25	2. 85388E-12 2. 53467E-29
A (5)	0. 00125642 4. 74856E-18	0. 000000 1. 36631E-21	3. 76371E-08 -6. 65549E-26	-1. 21844E-12 1. 27013E-30
A (6)	0. 00285442 7. 45799E-18	0. 000000 -1. 10623E-21	-2. 65725E-08 4. 73185E-26	8. 98623E-13 -2. 48824E-31

【 0 0 4 2 】

条件式対応値は以下のとおりである。

$$M \times 2 / M \times 1 = 218.6 / 272.4 = 0.802$$

【 0 0 4 3 】

図 5 に、第 2 実施例の投影光学系の子午方向 (TANGENTIAL 方向) 及び球欠方向 (SAGITTAL 方向) における横収差 (コマ収差) を示す。図において、Y は像高を表わし、Y = 0, Y = 5. 65, 及び最大像高の Y = 11. 3, の 3 つの点における収差を示す。図中、実線は基準波長 157. 62 nm, 点線は基準波長 + 0. 2 pm, 一点鎖線は基準波長 - 0. 2 pm での収差をそれぞれ示している。各収差図より明らかとなっており、本実施例の投影光学系は、像高 0 から最大像高までの領域において、良好な収差補正がなされ、FWHM 0. 2 pm という波長範囲において良好に色収差補正が達成されている。

【 0 0 4 4 】

よって、本実施例によれば、弗化バリウムからなる有効径が小さいレンズを効果的に配置することにより、良好な色収差補正効果が得られると共に、弗化バリ

ウムの使用量を極力少量とすることで、製造コストの抑制という効果も得ることができる。本実施例の投影光学系を露光装置に組み込んだ場合には、極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。本実施例の投影光学系は直径 22.6 の円形イメージフィールドを有するので、このイメージフィールド内で例えば走査方向の幅約 5、走査直交方向の幅約 22 の長方形の露光領域を確保することが可能である。なお、像高、イメージフィールドの単位は、表 1 及び 2 において曲率半径、間隔の単位として mm を採用した場合には mm である。

【0045】

[第3実施例]

図 3 は第 3 実施例の投影光学系 PL の光路図である。本実施例の投影光学系 PL は、 F_2 レーザが供給する光の波長 157.62 nm を基準波長としたものであり、基準波長に対して FWHM (full width at half maximum, 半値全幅) 0.25 pm の範囲で色収差補正を行っているものである。投影光学系 PL は全部で 26 枚のレンズ L301 ~ L326 を有し、全てのレンズが弗化物材料で形成されている。光路図に示すように、投影光学系 PL は第 1 面と第 2 面との中間部近傍で光線高が顕著に低くなり、レンズの有効径が小さくなる傾向を有し、この部分に配置された 5 枚の負レンズ L311, L312, L313, L315, L317 は弗化バリウム (BaF_2) で形成されている。そして、これら負レンズの間に位置する正レンズ L314, L316 及びその他のレンズは弗化カルシウム (CaF_2) で形成されている。

【0046】

第 3 実施例にかかる投影光学系 PL の諸元値を表 5 に示す。表 5 のレンズ番号は図 3 に示したレンズ L301 ~ L326 に対応する。各面の非球面データを表 6 に示す。表 5、表 6 において各記号、各係数の定義は上述の実施例 1 のものと同じである。ここで、本実施例の諸元値における曲率半径、間隔の単位の一例として mm を用いることができる。

【0047】

【表 5】

NA=0.846

 $\phi = 22.6$ $\beta = 1/5$

d0=50.2925

WD=10.2171

レンズ番号	曲率半径		間隔	材料
	前面	後面		
L301	357.2634	-297.0401	26.1490 1.0000	CaF2
L302	170.9503	A(1)	36.7291 16.5962	CaF2
L303	-5984.0982	188.4076	15.0578 17.0132	CaF2
L304	-252.9808	A(2)	15.0000 30.0542	CaF2
L305	-101.9787	2235.5421	15.0008 7.2133	CaF2
L306	-888.0078	-147.4825	43.9491 0.8522	CaF2
L307	∞	-393.4393	31.3308 1.0000	CaF2
L308	511.4690	-479.6698	56.8866 2.1082	CaF2
L309	260.0000	-7410.4184	52.3298 1.0290	CaF2
L310	211.4801	1920.5993	45.7949 38.5835	CaF2
L311	-577.1751	269.2934	15.6991 48.1373	BaF2
L312	A(3)	113.0584	15.6970 36.9886	BaF2
L313	-127.5609	1066.9193	38.2620 1.0000	BaF2
L314	471.2885	-141.8041	50.4185 1.3036	CaF2
L315	-178.9088	A(4)	15.0000 1.6457	BaF2
L316	351.0282	-193.2869	56.7879 1.0000	CaF2
L317	-206.3651	A(5)	15.0000 7.1378	BaF2
L318	3325.8738	-322.1797	38.0140 1.0000	CaF2
L319	504.0637	-423.6964	55.6561 14.0032	CaF2
APERTURE STOP				
L320	395.1400	-365.3907	14.7878 66.9711	CaF2
L321	-315.6666	-875.1589	5.7650 25.4887	CaF2
L322	465.5962	934.4138	7.9214 40.0000	CaF2
L323	448.1143	12656.8130	0.8498 40.0000	CaF2
L324	176.8246	A(6)	1.1935 30.8124	CaF2
L325	121.3966	982.8938	26.2792 34.7595	CaF2
L326	39919.3642	∞	3.0966 55.7444	CaF2

【0048】

【表 6】

面番号	CURV C	K D	A E	B F
A (1)	0.00887571 -2.24825E-16	0.000000 1.47901E-20	-5.07110E-08 -7.36141E-24	-2.69841E-12 5.28193E-28
A (2)	0.00380595 -6.53846E-17	0.000000 -2.08968E-21	-1.17125E-07 1.13000E-24	2.02206E-12 -5.82303E-29
A (3)	-0.00010672 3.79243E-18	0.000000 3.75671E-21	-5.85730E-09 -3.64391E-25	2.11397E-13 1.20656E-29
A (4)	0.00325980 3.31023E-18	0.000000 -1.51389E-23	-9.53171E-09 -1.55302E-26	-5.91081E-13 1.56823E-31
A (5)	0.00034626 -3.21560E-18	0.000000 -2.49671E-23	3.09397E-08 3.23333E-27	1.11371E-13 -4.87033E-32
A (6)	0.00326706 8.08155E-18	0.000000 -1.03227E-21	-2.19448E-08 7.60326E-26	1.00259E-12 -1.04190E-30

【 0 0 4 9 】

条件式対応値は以下のとおりである。

$$M \times 2 / M \times 1 = 199.4 / 284.6 = 0.701$$

【 0 0 5 0 】

図 6 に、第 3 実施例の投影光学系の子午方向（TANGENTIAL 方向）及び球欠方向（SAGITTAL 方向）における横収差（コマ収差）を示す。図において、Y は像高を表わし、Y = 0、Y = 5.65、及び最大像高の Y = 11.3、の 3 つの点における収差を示す。図中、実線は基準波長 157.62 nm、点線は基準波長 + 0.25 pm、一点鎖線は基準波長 - 0.25 pm での収差をそれぞれ示している。各収差図より明らかなとおり、本実施例の投影光学系は、像高 0 から最大像高までの領域において、良好な収差補正がなされ、FWHM 0.25 pm という波長範囲において良好に色収差補正が達成されている。

【 0 0 5 1 】

よって、本実施例によれば、弗化バリウムからなる有効径が小さいレンズを効果的に配置することにより、良好な色収差補正効果が得られると共に、弗化バリ

ウムの使用量を極力少量とすることで、製造コストの抑制という効果も得ることができる。本実施例の投影光学系を露光装置に組み込んだ場合には、極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。本実施例の投影光学系は直径 22.6 の円形イメージフィールドを有するので、このイメージフィールド内で例えば走査方向の幅約 5、走査直交方向の幅約 22 の長形状の露光領域を確保することが可能である。なお、像高、イメージフィールドの単位は、表 1 及び 2 において曲率半径、間隔の単位として mm を採用した場合には mm である。

【0052】

上記第 1 乃至第 3 の実施例の投影光学系 PL は、図 7 に示す実施形態の投影露光装置に適用することができる。以下、図 7 を参照して、本発明にかかる露光装置の実施の形態について説明する。図 7 は、実施形態にかかる投影露光装置の概略構成を示す図である。図 7 においては XYZ 座標系を採用している。ウエハ W の法線方向に沿って Z 軸を、ウエハ W 面内において図 7 の紙面に平行な方向に Y 軸を、ウエハ W 面内において図 7 の紙面に垂直な方向に X 軸をそれぞれ設定している。

【0053】

実施形態にかかる露光装置は、露光光源として F_2 レーザ光源を使用し、上記第 1 乃至第 3 実施例の何れか 1 つの屈折型投影光学系を投影光学系 PL として使用して、本発明を適用したものである。本実施形態の投影露光装置では、レチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に所定の方向へレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の 1 つのショット領域にレチクルのパターン像を逐次的に転写するステップ・アンド・スキャン方式を採用している。このようなステップ・アンド・スキャン型の露光装置では、投影光学系の露光フィールドよりも広い基板上の領域にレチクルのパターンを露光することができる。

【0054】

図 7 において、レーザ光源 2 は、例えばフッ素ダイマーレーザ (F_2 レーザ) に狭帯化装置および増幅装置を組み合わせたものを有する。 F_2 レーザは、自然発振で 0.6 ~ 1 μm 程度の半値全幅である。ここで、狭帯化は、例えば MOP A 方式やインジェクションロック方式等の公知技術により行うことができる。

【 0 0 5 5 】

図 8 は、本発明の実施形態の光源として使用可能な M O P A (M a s t e r Oscillator and Power Amplifiers) 方式のレーザ光源の概略構成図である。図 8 において、レーザ光源 2 は、狭帯化されたレーザ光を発生させるレーザ発振器 1 0 0 と、レーザ発振器 1 0 0 に連結されてレーザ発振器 1 0 0 からのレーザ光を増幅する増幅器 1 0 2 とを有する。ここで、レーザ発振器 1 0 0 は、レーザチャンバ 1 1 0 と、レーザチャンバ 1 1 0 の出力端側に配置された出力鏡 1 1 2 と、アパーチャ 1 1 4 と、波長選択素子としてのプリズム 1 1 6 及び回折格子 1 1 8 とを有する。また、増幅器 1 0 2 は、レーザチャンバ 1 2 0 を有する。

【 0 0 5 6 】

レーザ発振器 1 0 0 においてレーザ光は、出力鏡と回折格子 1 1 6 との間の光路をアパーチャ 1 1 4 を介して少なくとも 1 往復し、その後、例えば 0 . 2 ~ 0 . 3 p m 程度の半値全幅を有するように狭帯化されて、レーザ発振器 1 0 0 から射出される。狭帯化されたレーザ光は、レーザチャンバ 1 2 0 内へ入力され、レーザチャンバ 1 2 0 を通過する際に増幅されて、増幅器 1 0 2 から射出される。図に示すレーザ光源では、発振パルスタイミング制御部 1 0 3 によって、レーザ発振器 1 0 0 と増幅器 1 0 2 との発振タイミングが制御されている。なお、図 8 に示した例では、1 組の増幅器を使用したか、複数組の増幅器をレーザ発振器 1 0 0 の出力側に直列的に連結する構成であっても良い。

【 0 0 5 7 】

図 9 は、本発明の別の実施形態の光源として使用可能なインジェクション・ロッキング方式のレーザ光源 2 の概略構成図である。図 9 において、レーザ光源 2 は、狭帯化されたレーザ光を発生させるレーザ発振器 1 0 0 と、レーザ発振器 1 0 0 に連結されてレーザ発振器 1 0 0 からのレーザ光を増幅する増幅器 1 0 2 とを有する。ここで、レーザ発振器 1 0 0 は、レーザチャンバ 1 1 0 と、レーザチャンバ 1 1 0 の出力端側に配置された出力鏡 1 1 2 と、アパーチャ 1 1 4 と、波長選択素子としてのプリズム 1 1 6 及び回折格子 1 1 8 とを有する。また、増幅器 1 0 2 は、凸面鏡 1 2 2、レーザチャンバ 1 2 0 及びカップリングホール 1 2

6 が形成された凹面鏡 1 2 4 を有する。

【0 0 5 8】

レーザ発振器 1 0 0 においてレーザ光は、出力鏡 1 1 2 と回折格子 1 1 8 との間の光路をアパーチャ 1 1 4 を介して少なくとも 1 往復し、その後、例えば 0. 2 ~ 0. 3 p m 程度の半値全幅を有するように狭帯化されて、レーザ発振器 1 0 0 から射出される。狭帯化されたレーザ光は、凹面鏡 1 2 4 のカップリングホール 1 2 6 を介してレーザチャンバ 1 2 0 内へ入力され、凸面鏡 1 2 2 及び凹面鏡 1 2 4 の間を往復する間に増幅されて、この増幅器から射出される。図に示すレーザ光源 2 では、発振パルスタイミング制御部 1 0 3 によって、レーザ発振器 1 0 0 と増幅器 1 0 2 との発振タイミングが制御されている。なお、このようなインジェクション・ロッキング方式の F_2 レーザ光源は、例えば特開 2 0 0 1 - 2 4 2 6 5 号公報や特開 2 0 0 0 - 3 5 7 8 3 6 号公報などに開示されている。

【0 0 5 9】

上記のような光源を用いることにより、狭帯化の進んだ露光光を供給することができ、高解像にパターンの像を形成することができる。また、上記のように増幅器を有する併設することにより、狭帯化の際に光の出力が低下しても、常に実用的な光出力を供給できる。なお、本実施形態におけるレーザ光源 2 としては、波長約 1 2 0 n m ~ 約 1 8 0 n m の真空紫外域に属する光を発する光源、例えば発振波長 1 4 6 n m のクリプトンダイマーレーザ (Kr_2 レーザ) や、発振波長 1 2 6 n m のアルゴンダイマーレーザ (Ar_2 レーザ) などを用いることができる。

【0 0 6 0】

再び図 7 を参照すると、レーザ光源 2 からのパルスレーザ光 (照明光) は、偏向ミラー 3 にて偏向されて、光路遅延光学系 4 1 へ向かい、レーザ光源 2 からの照明光の時間的可干渉距離 (コヒーレンス長) 以上の光路長差が付けられた時間的に複数の光束に分割される。なお、このような光路遅延光学系は例えば特開平 1 - 1 9 8 7 5 9 号公報や特開平 1 1 - 1 7 4 3 6 5 号に開示されている。

【0 0 6 1】

光路遅延光学系 4 1 から射出される照明光は、光路偏向ミラー 4 2 にて偏向さ

れた後に、第1フライアイレンズ43、ズームレンズ44、振動ミラー45を順に介して第2フライアイレンズ46に達する。第2フライアイレンズ46の射出側には、有効光源のサイズ・形状を所望に設定するための照明光学系開口絞り用の切り替えレボルバ5が配置されている。本例では、照明光学系開口絞りでの光量損失を低減させるために、ズームレンズ44による第2フライアイレンズ46への光束の大きさを可変としている。

【0062】

照明光学系開口絞りの開口から射出した光束は、コンデンサレンズ群10を介して照明視野絞り（レチクルブラインド）11を照明する。なお、照明視野絞り11については、特開平4-196513号公報及びこれに対応する米国特許第5,473,410号公報に開示されている。

【0063】

照明視野絞り11からの光は、偏向ミラー151, 154, レンズ群152, 153, 155からなる照明視野絞り結像光学系（レチクルブラインド結像系）を介してレチクルR上へ導かれ、レチクルR上には、照明視野絞り10の開口部の像である照明領域が形成される。レチクルR上の照明領域からの光は、投影光学系PLを介してウエハW上へ導かれ、ウエハW上には、レチクルRの照明領域内のパターンの縮小像が形成される。レチクルRを保持するレチクルステージRSはXY平面内で二次元的に移動可能であり、その位置座標は干渉計19によって計測されかつ位置制御される。また、ウエハWを保持するウエハステージ22もXY平面内で二次元的に移動可能であり、その位置座標は干渉計24によって計測されかつ位置制御される。これらにより、レチクル及び基板を高精度に同期走査させることが可能になる。

【0064】

さて、真空紫外域の波長の光を露光光とする場合には、その光路から酸素、水蒸気、炭化水素系のガス等の、かかる波長帯域の光に対し強い吸収特性を有するガス（以下、適宜「吸収性ガス」と呼ぶ）を排除する必要がある。従って、本実施形態では、照明光路（レーザ光源2～レチクルRへ至る光路）及び投影光路（レチクルR～ウエハWへ至る光路）を外部雰囲気から遮断し、それらの光路を真

空紫外域の光に対する吸収の少ない特性を有する特定ガスとしての窒素，ヘリウム，アルゴン，ネオン，クリプトンなどのガス，またはそれらの混合ガス（以下，適宜「低吸収性ガス」あるいは「特定ガス」と呼ぶ）で満たしている。

【 0 0 6 5 】

具体的には，レーザ光源 2 から光遅延光学系 4 1 までの光路をケーシング 3 0 により外部雰囲気より遮断し，光遅延光学系 4 1 から照明視野絞り 1 1 までの光路をケーシング 4 0 により外部雰囲気より遮断し，照明視野絞り結像光学系をケーシング 1 5 0 により外部雰囲気から遮断し，それらの光路内に上記特定ガスを充填している。ケーシング 4 0 とケーシング 1 5 0 はケーシング 4 9 により接続されている。また，投影光学系 P L 自体もその鏡筒がケーシングとなっており，その内部光路に上記特定ガスを充填している。

【 0 0 6 6 】

なお，各光路に充填される特定ガスとしては，ヘリウムを用いることが好ましい。但し，レーザ光源 2 ～レチクル R までの照明光学系の光路（ケーシング 3 0 ， 4 0 ， 1 5 0 ）については特定ガスとして窒素を用いても良い。

【 0 0 6 7 】

ケーシング 1 7 0 は，照明視野絞り結像光学系を納めたケーシング 1 5 0 と投影光学系 P L との間の空間を外部雰囲気から遮断しており，その内部にレチクル R を保持するレチクルステージ R S を収納している。このケーシング 1 7 0 には，レチクル R を搬入・搬出するための扉 1 7 3 が設けられており，この扉 1 7 3 の外側には，レチクル R を搬入・搬出時にケーシング 1 7 0 内の雰囲気が汚染されるのを防ぐためのガス置換室 1 7 4 が設けられている。このガス置換室 1 7 4 にも扉 1 7 7 が設けられており，複数種のレチクルを保管しているレチクルストック 2 1 0 との間のレチクルの受け渡しは扉 1 7 7 を介して行う。

【 0 0 6 8 】

ケーシング 2 0 0 は，投影光学系 P L とウエハ W との間の空間を外部雰囲気から遮断しており，その内部に，ウエハ W を保持するウエハステージ 2 2 ，基板としてのウエハ W の表面の Z 方向の位置（フォーカス位置）や傾斜角を検出するための斜入射形式のオートフォーカスセンサ 2 6 ，オフ・アクシス方式のアライメ

ントセンサ 2 8, ウエハステージ 2 2 を載置している定盤 2 3 を収納している。このケーシング 2 0 0 には, ウエハ W を搬入・搬出するための扉 2 0 3 が設けられており, この扉 2 0 3 の外側にはケーシング 2 0 0 内部の雰囲気汚染されるのを防ぐためのガス置換室 2 0 4 が設けられている。このガス置換室 2 0 4 には扉 2 0 7 が設けられており, 装置内部へのウエハ W の搬入, 装置外部へのウエハ W の搬出はこの扉 2 0 7 を介して行う。

【 0 0 6 9 】

ここで, ケーシング 4 0, 1 5 0, 1 7 0, 2 0 0 のそれぞれには, 給気弁 1 4 7, 1 5 6, 1 7 1, 2 0 1 が設けられており, これらの給気弁 1 4 7, 1 5 6, 1 7 1, 2 0 1 は図示なきガス供給装置に接続された給気管路に接続されている。また, ケーシング 4 0, 1 5 0, 1 7 0, 2 0 0 のそれぞれには, 排気弁 1 4 8, 1 5 7, 1 7 2, 2 0 2 が設けられており, これらの排気弁 1 4 8, 1 5 7, 1 7 2, 2 0 2 は, それぞれ図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。なお, ガス供給装置からの特定ガスは不図示の温度調整装置により所定の目標温度に制御されている。ここで, 特定ガスとしてヘリウムを用いる場合には, 温度調整装置は各ケーシングの近傍に配置されることが好ましい。

【 0 0 7 0 】

同様に, ガス置換室 1 7 4, 2 0 4 にも給気弁 1 7 5, 2 0 5 と排気弁 1 7 6, 2 0 6 とが設けられており, 給気弁 1 7 5, 2 0 5 は給気管路を介して, 排気弁 1 7 6, 2 0 6 は排気管路を介してそれぞれ上記ガス供給装置に接続されている。さらに, 投影光学系 P L の鏡筒にも給気弁 1 8 1 及び排気弁 1 8 2 が設けられており, 給気弁 1 8 1 は図示なき給気管路を介して, 排気弁 1 8 2 は図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。

【 0 0 7 1 】

なお, 給気弁 1 4 7, 1 5 6, 1 7 1, 1 7 5, 1 8 1, 2 0 1, 2 0 5 が設けられた給気管路と, 排気弁 1 4 8, 1 5 7, 1 7 2, 1 7 6, 1 8 2, 2 0 2, 2 0 6 が設けられた排気管路とには, H E P A フィルタあるいは U L P A フィルタ等の塵 (パーティクル) を除去するためのフィルタと, 酸素等の吸収性ガス

を除去するケミカルフィルタとが設けられている。

【0072】

なお、ガス置換室174、204においては、レチクル交換又はウエハ交換毎にガス置換を行う必要がある。例えば、レチクル交換の際には、扉174を開いてレチクルストッカ210からレチクルをガス置換室174内に搬入し、扉174を閉めてガス置換室174内を特定ガスで満たし、その後、扉173を開いて、レチクルをレチクルステージRS上に載置する。また、ウエハ交換の際には、扉207を開いてウエハをガス置換室204内に搬入し、この扉207を締めてガス置換室204内を特定ガスで満たす。その後、扉203を開いてウエハをウエハホルダ20上に載置する。なお、レチクル搬出、ウエハ搬出の場合はこの逆の手順である。なお、ガス置換室174、204へのガス置換の際には、ガス置換室内の雰囲気減圧した後に、給気弁から特定ガスを供給しても良い。

【0073】

また、ケーシング170、200においては、ガス置換室174、204によるガス置換を行った気体が混入する可能性があり、このガス置換室174、204のガス中にはかなりの量の酸素などの吸収ガスが混入している可能性が高いため、ガス置換室174、204のガス置換と同じタイミングでガス置換を行うことが望ましい。また、ケーシング及びガス置換室においては、外部雰囲気の圧力よりも高い圧力の特定ガスを充填しておくことが好ましい。

【0074】

また、図7では不図示ではあるが、本実施形態では、投影光学系PLを構成する複数のレンズ素子のうちの少なくとも1つのレンズ素子は、その位置及び姿勢の少なくとも一方が変更可能であるように保持されている。これにより、投影光学系PLの結像特性を変更可能である。このような調整手段は、例えば特開平4-192317号公報、特開平4-127514号公報（及び対応する米国特許第5,117,255号公報）、特開平5-41344号公報、及び特開平6-84527号公報（及び対応する米国特許第5,424,552号公報）に開示されている。本実施形態においては、位置及び姿勢の少なくとも一方が変更可能なレンズ素子のうちの少なくとも1つは、球面レンズであることが好ましい。

【 0 0 7 5 】

次に、上記の実施の形態の投影露光装置を用いてウエハ上に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の動作の一例につき図 1 0 のフローチャートを参照して説明する。先ず、図 1 0 のステップ 3 0 1 において、1 ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 3 0 2 において、その 1 ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリジストが塗布される。その後、ステップ 3 0 3 において、第 1 乃至第 4 実施例のうち何れかの投影光学系 P L を備えた図 7 の投影露光装置を用いて、レチクル R 上のパターンの像がその投影光学系 P L を介して、その 1 ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。

【 0 0 7 6 】

その後、ステップ 3 0 4 において、その 1 ロットのウエハ上のフォトリジストの現像が行われた後、ステップ 3 0 5 において、その 1 ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、レチクル R 上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【 0 0 7 7 】

また、上記の実施の形態の投影露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図 1 1 のフローチャートを参照して、このときの動作の一例につき図 1 1 のフローチャートを参照して説明する。

【 0 0 7 8 】

図 1 1 において、パターン形成工程 4 0 1 では、本実施形態の露光装置を用いてレチクルのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。

その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程 2 0 2 へ移行する。

【 0 0 7 9 】

次に、カラーフィルター形成工程 4 0 2 では、R (R e d) , G (G r e e n) , B (B l u e) に対応した 3 つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程 4 0 2 の後に、セル組み立て工程 4 0 3 が実行される。

【 0 0 8 0 】

セル組み立て工程 4 0 3 では、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程 4 0 2 にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程 4 0 3 では、例えば、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 4 0 2 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【 0 0 8 1 】

その後、モジュール組み立て工程 4 0 4 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【 0 0 8 2 】

さて、上記図 7 の実施形態では、照明光学系中のオプティカルインテグレータ（ユニフォマイザ、ホモジナイザ）としてフライアイレンズ 4 3 , 4 6 を用いているが、1 枚の基板の上に複数のレンズ面をエッチング等の手法により形成したマイクロフライアイレンズをに用いても良い。また、第 1 フライアイレンズ 4 3 の代わりに、回折作用により入射光を発散させてそのファースフィールド（フラウンホーファー回折領域）において円形状、輪帯状、多重極状の照野を形成する回折光学素子を用いても良い。なお、このような回折光学素子としては例えば米国

特許第 5, 8 5 0, 3 0 0 号に開示されているものを用いることができる。ここで、回折光学素子を用いる場合には、光路遅延光学系 4 1 を省略しても良い。

【 0 0 8 3 】

また、オプティカルインテグレータとしては、内面反射型インテグレータ（ロッド・インテグレータ、光パイプ、光トンネルなど）を用いることもできる。このような内面反射型インテグレータを用いる場合には、内面反射型インテグレータの射出面とレチクルのパターン面とがほぼ共役となる。従って、図 7 の実施形態に適用する場合には、例えば内面反射型インテグレータの射出面に近接させて照明視野絞り（レチクルブラインド）1 1 を配置し、第 1 フライアイレンズ 4 3 の射出面と内面反射型インテグレータの入射面とをほぼ共役とするように、ズームレンズ 4 4 を構成する。

【 0 0 8 4 】

また、本実施形態では、投影光学系中のレンズ成分として、弗化カルシウム（ CaF_2 、螢石）及び弗化バリウム（ BaF_2 ）を用いているが、投影光学系中のレンズ成分としては、弗化カルシウム（ CaF_2 、螢石）、弗化バリウム（ BaF_2 ）、弗化リチウム（ LiF ）、弗化マグネシウム（ MgF_2 ）、弗化ストロンチウム（ SrF_2 ）、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フッライド（ LiCaAlF_6 ）、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フッライド（ LiSrAlF_6 ）からなるグループから選択された少なくとも 2 種類以上の弗化物材料であることが好ましい。ここで、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フッライド、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フッライドは、ライカフ結晶と呼ばれる複合弗化物のうちでクロムやセリウムといった微量元素を添加しないものである。また、上記第 1 乃至第 4 実施例の投影光学系 PL を構成する各レンズ成分のレンズ面には、反射防止コートが設けられる。ここで、反射防止コートとしては、3 層以下、好ましくは、2 乃至 3 層の膜構成であり、入射角範囲は小さいが透過率の高い第 1 のコートと 4 層以上の膜構成であり透過率は低いが入射角範囲は大きな第 2 のコートとを適用できる。反射防止コートをレンズ面に成膜する際に水分を十分に抑えることにより、 F_2 レーザーの波長域において、第 1 のコートでは例えば 99.9% 程度の透過率、第 2 のコ

ートでは例えば99%の透過率を達成することが可能である。本実施例では、投影光学系PLを構成する各レンズ成分のレンズ面への光線の入射角に応じて上記第1のコートと上記第2のコートとを適切に割り付けることによって（例えば、光線の入射角範囲の狭いレンズ面には第1のコートを割り付け、光線の入射角範囲の広いレンズ面には第2のコートを割り付けることによって）、大きな開口数かつ大きなイメージフィールドであっても、投影光学系のイメージフィールド内における透過率ムラと、投影光学系のイメージフィールドの各点に達する光束の角度内ムラとを低減させている。なお、本実施形態においては、このようなコート割付を投影光学系のみならず照明光学系においても行っている。

【0085】

また、図7の実施形態において、第1フライアイレンズ43の入射側に、スペックル防止のための複屈折性材料からなるプリズムを配置しても良い。このようなスペックル防止用のプリズムとしては、例えば米国特許第5,253,110号に開示されている。なお、露光波長として180nm以下の波長の光を用いる場合、米国特許第5,253,110号に開示されている水晶プリズムに代えて、弗化マグネシウム(MgF₂)の結晶からなるプリズムを用いることができる。

【0086】

この弗化マグネシウムの結晶からなるくさび型プリズムは、照明光学系の光軸に交差する方向で厚さが次第に変化するように配置される。そして、この弗化マグネシウムの結晶からなるくさび型プリズムに対向して、それらの頂角が互いに反対側を向くように光路補正用くさび型プリズムを配置する。この光路補正用くさび型プリズムは、当該弗化マグネシウムの結晶からなるプリズムと同じ頂角を有し、複屈折性を有しない光透過性材料からなる。これにより、プリズムの対に入射した光と、そこから射出する光とを同一進行方向にそろえることができる。

【0087】

また、図7の実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式を採用したが、実施形態の露光装置をステッチング及びスリットスキャン型の露光装置としても良い。ステッチング及びスリットスキャン方式を採用する場合、レチクル上

の所定形状の照明領域に対して相対的に所定の第 1 の方向にレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の第 1 列目の領域への露光が行われる。その後、そのレチクルを交換するか、又はそのレチクルを上記照明領域の第 1 の方向と直交する第 2 の方向に沿って所定量だけ移動させて、基板を照明領域の第 2 の方向と共役な方向に横ずれさせる。そして、再びレチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に第 1 の方向にレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の第 2 列目の領域への露光を行う。

【 0 0 8 8 】

このようなステッチング及びスリットスキャン型の露光装置では、投影光学系の露光フィールドよりも広い基板上の領域にレチクルのパターンを露光することができる。なお、このようなステッチング及びスリットスキャン型の露光装置は、米国特許第 5, 4 7 7, 3 0 4 号公報、特開平 8 - 3 3 0 2 2 0 号公報、特開平 1 0 - 2 8 4 4 0 8 号公報などに開示されている。なお、上記実施形態では、基板上の所定のショット領域に対してレチクル上のパターン像を一括転写する一括露光方式も採用することができる。

【 0 0 8 9 】

また、図 7 の実施形態では、ワーク（感光性基板）としてのウエハを保持するウエハステージを 1 つ設けたが、例えば特開平 5 - 1 7 5 0 9 8 号、特開平 1 0 - 1 6 3 0 9 7 号、特開平 1 0 - 1 6 3 0 9 8 号、特開平 1 0 - 1 6 3 0 9 9 号、または特開平 1 0 - 2 1 4 7 8 3 号などに開示されるように、2 組のウエハステージを設ける構成であっても良い。

【 0 0 9 0 】

さらに、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子（CCD など）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

【 0 0 9 1 】

以上、添付図面を参照しながら本発明にかかる好適な実施形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【 0 0 9 2 】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように本発明によれば、高コスト化を招くことなく、良好に色収差補正され、微細なパターンを高解像に投影可能な投影光学系を提供できる。また、本発明によれば、極めて微細化された投影原版のパターンの像を基板上に良好に投影露光可能な投影露光装置及び投影露光方法を提供でき、微細な回路パターンを高解像に形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 実施例の投影光学系の光路図である。

【図 2】 本発明の第 2 実施例の投影光学系の光路図である。

【図 3】 本発明の第 3 実施例の投影光学系の光路図である。

【図 4】 本発明の第 1 実施例の投影光学系の収差図である。

【図 5】 本発明の第 2 実施例の投影光学系の収差図である。

【図 6】 本発明の第 3 実施例の投影光学系の収差図である。

【図 7】 本発明の実施の形態に係る投影露光装置の構成図である。

【図 8】 本発明の実施の形態に係る光源の概略構成図である。

【図 9】 本発明の別の実施の形態に係る光源の概略構成図である。

【図 1 0】 本発明の実施の形態に係るマイクロデバイス製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図 1 1】 本発明の実施の形態に係るマイクロデバイス製造方法の別の一例を示すフローチャートである。

【符号の説明】

A S 開口絞り

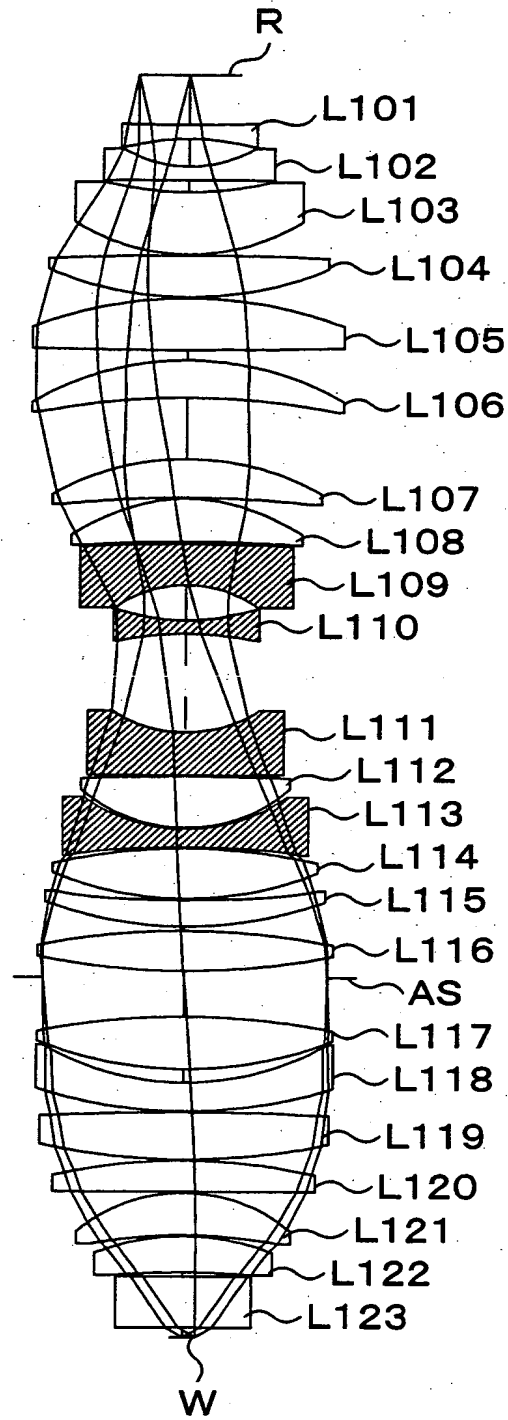
P L 投影光学系

R レチクル

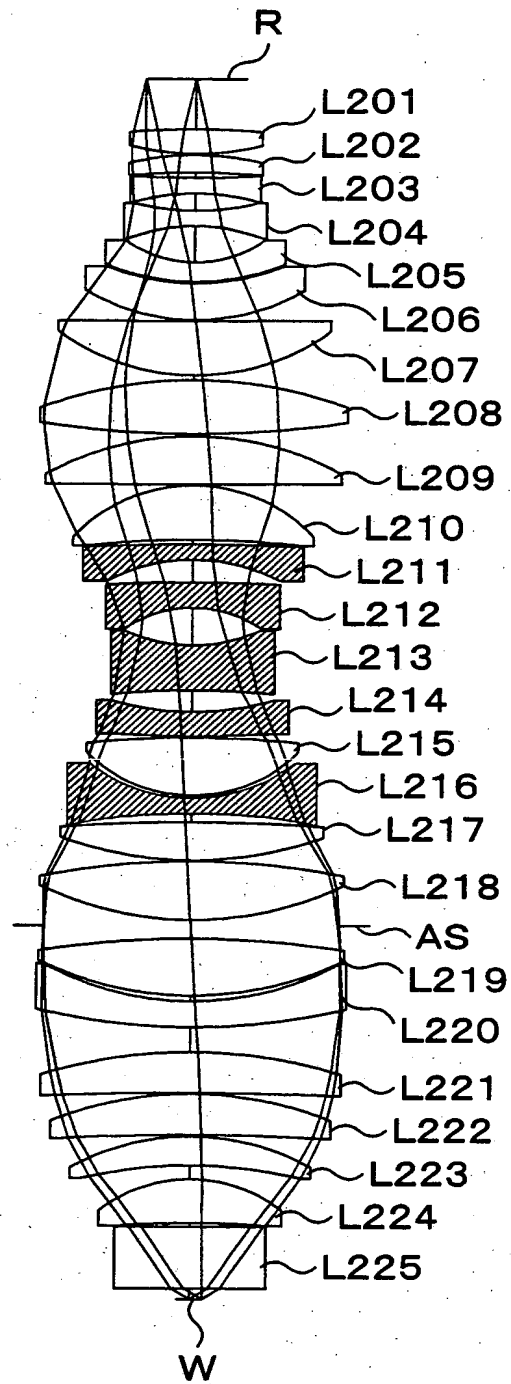
W ウエハ

【書類名】 図面

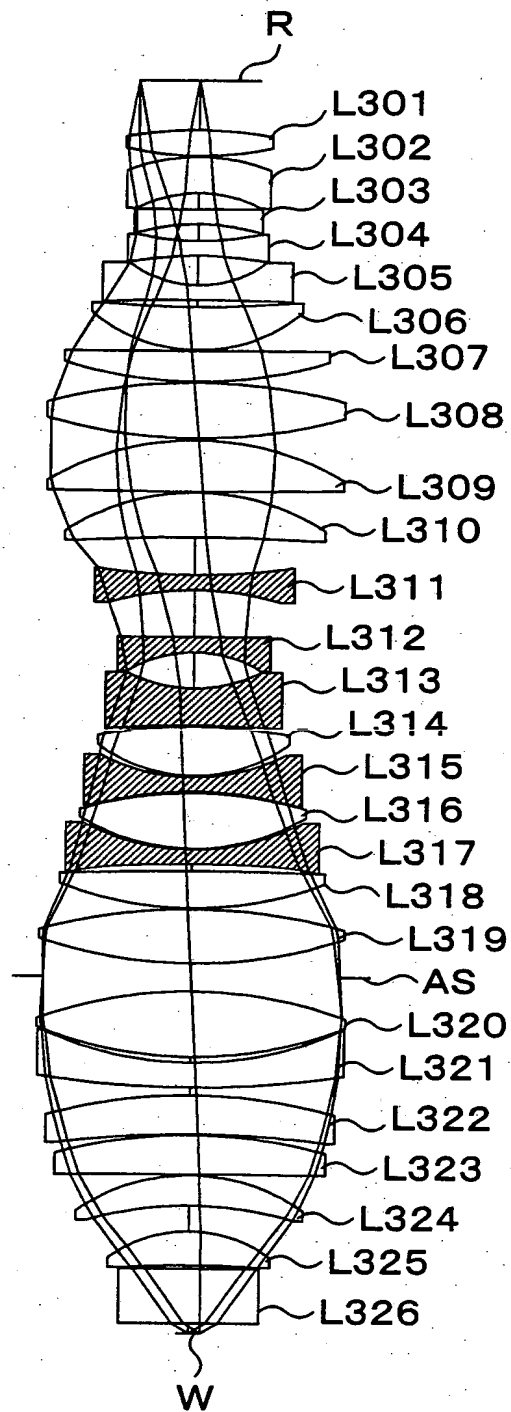
【図1】



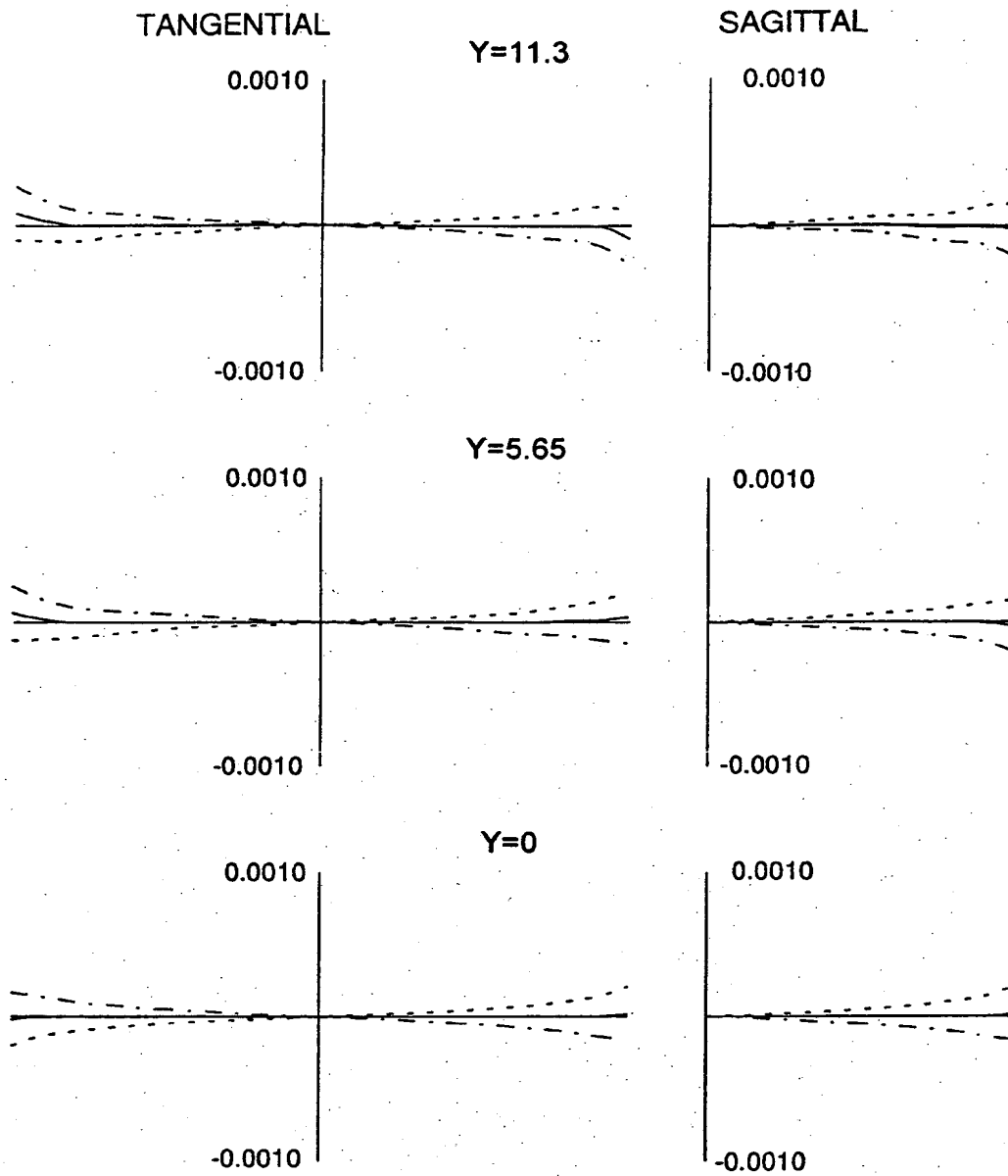
【図2】



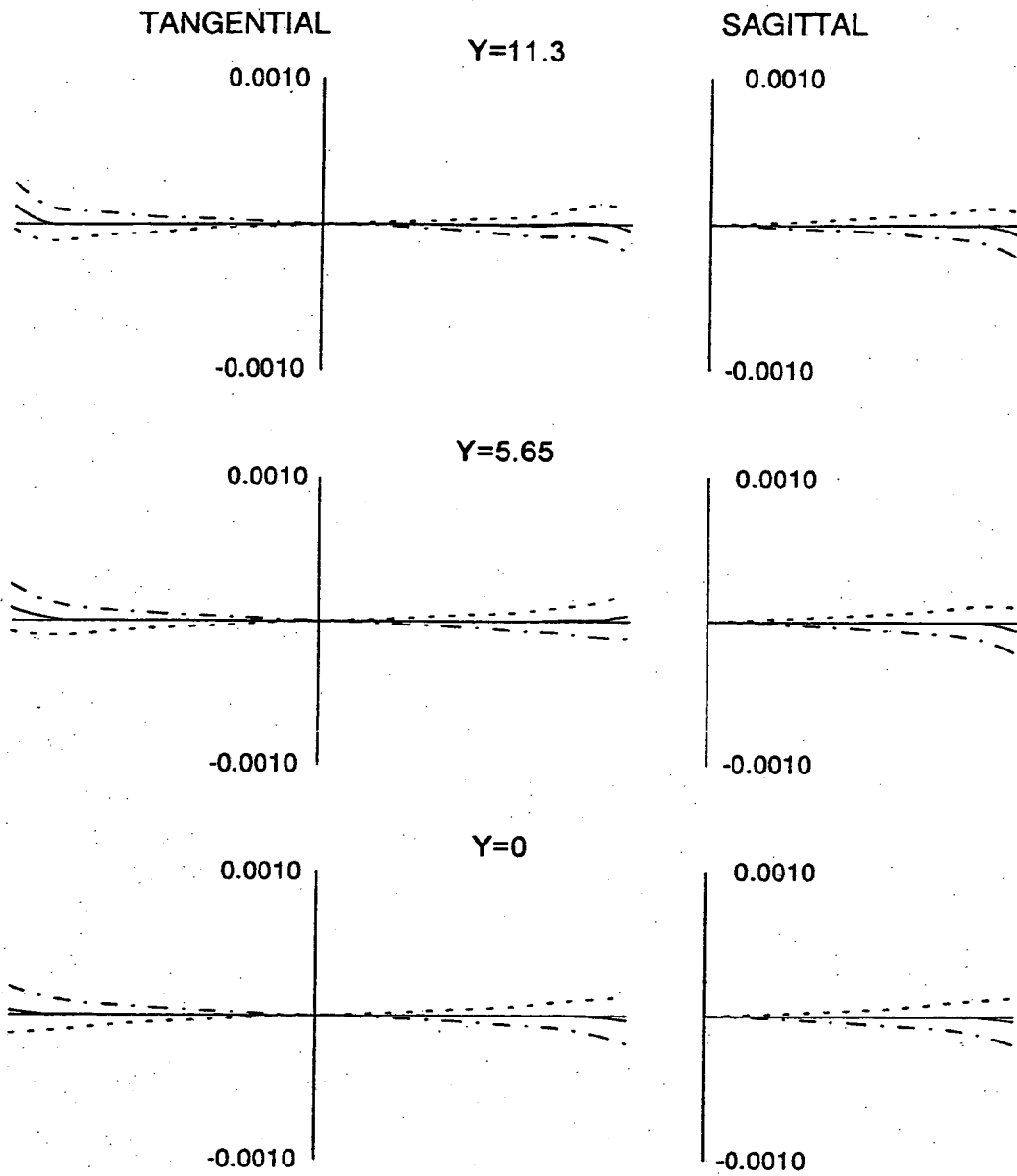
【図3】



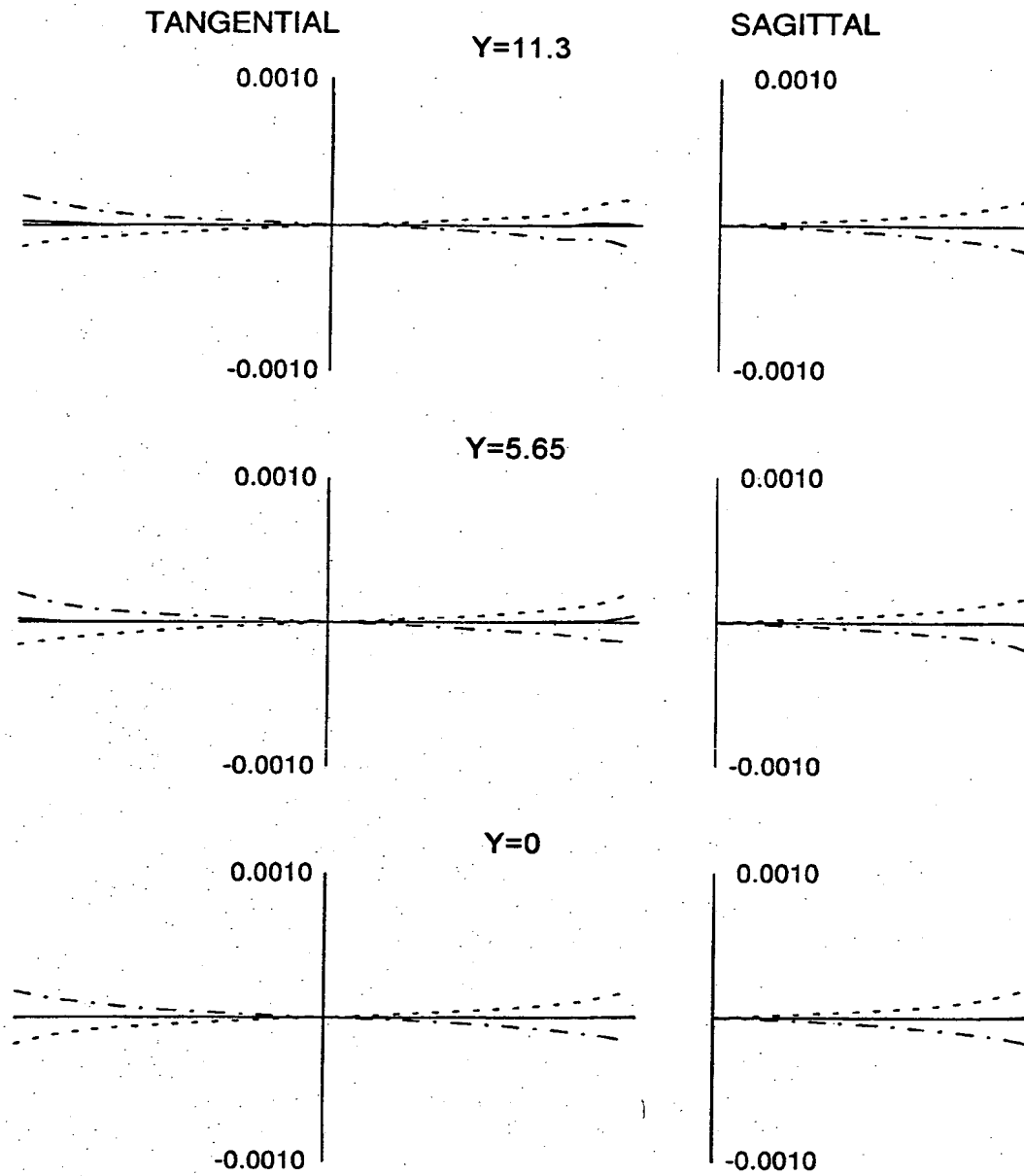
【図 4】



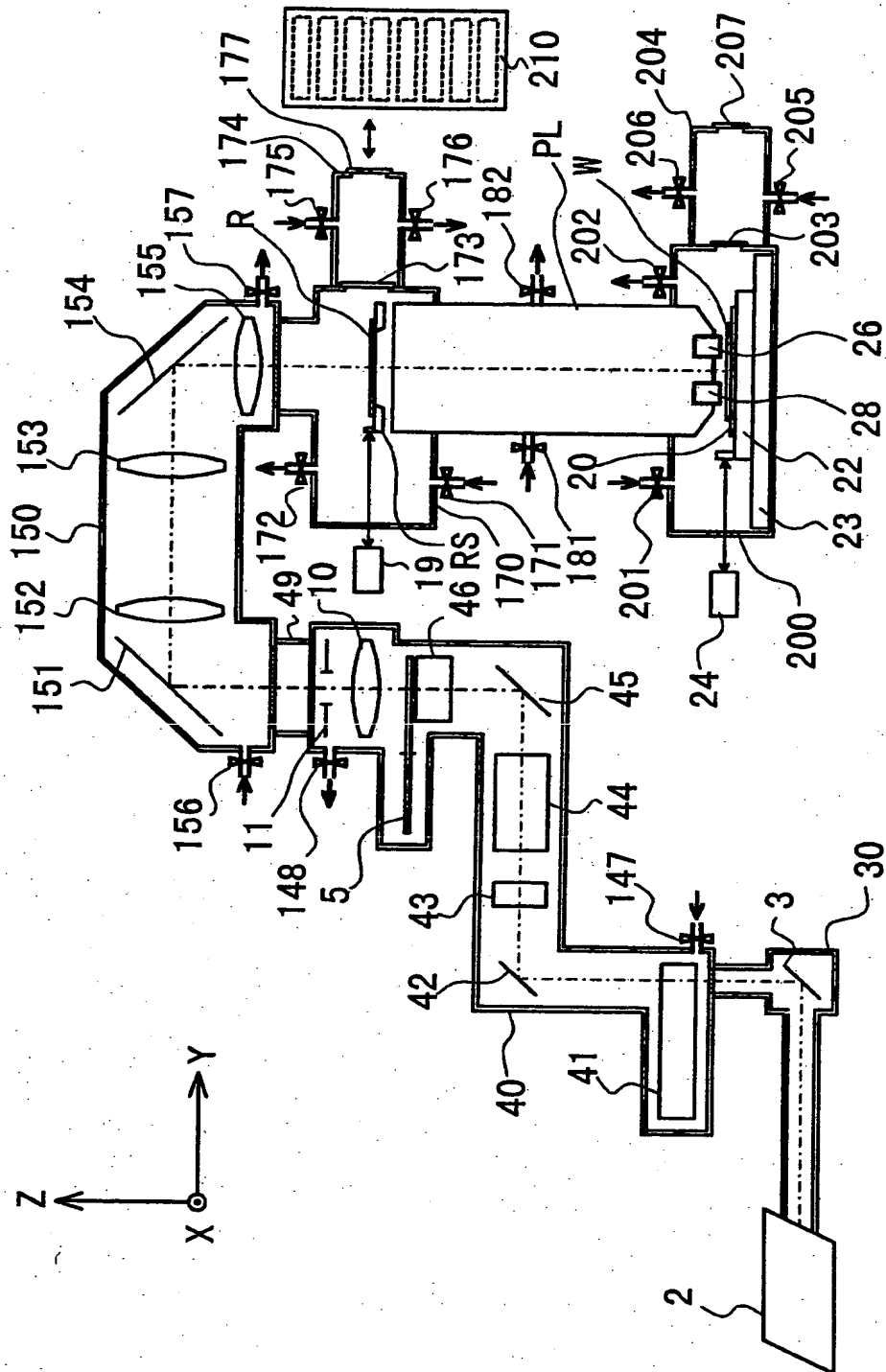
【図 5】



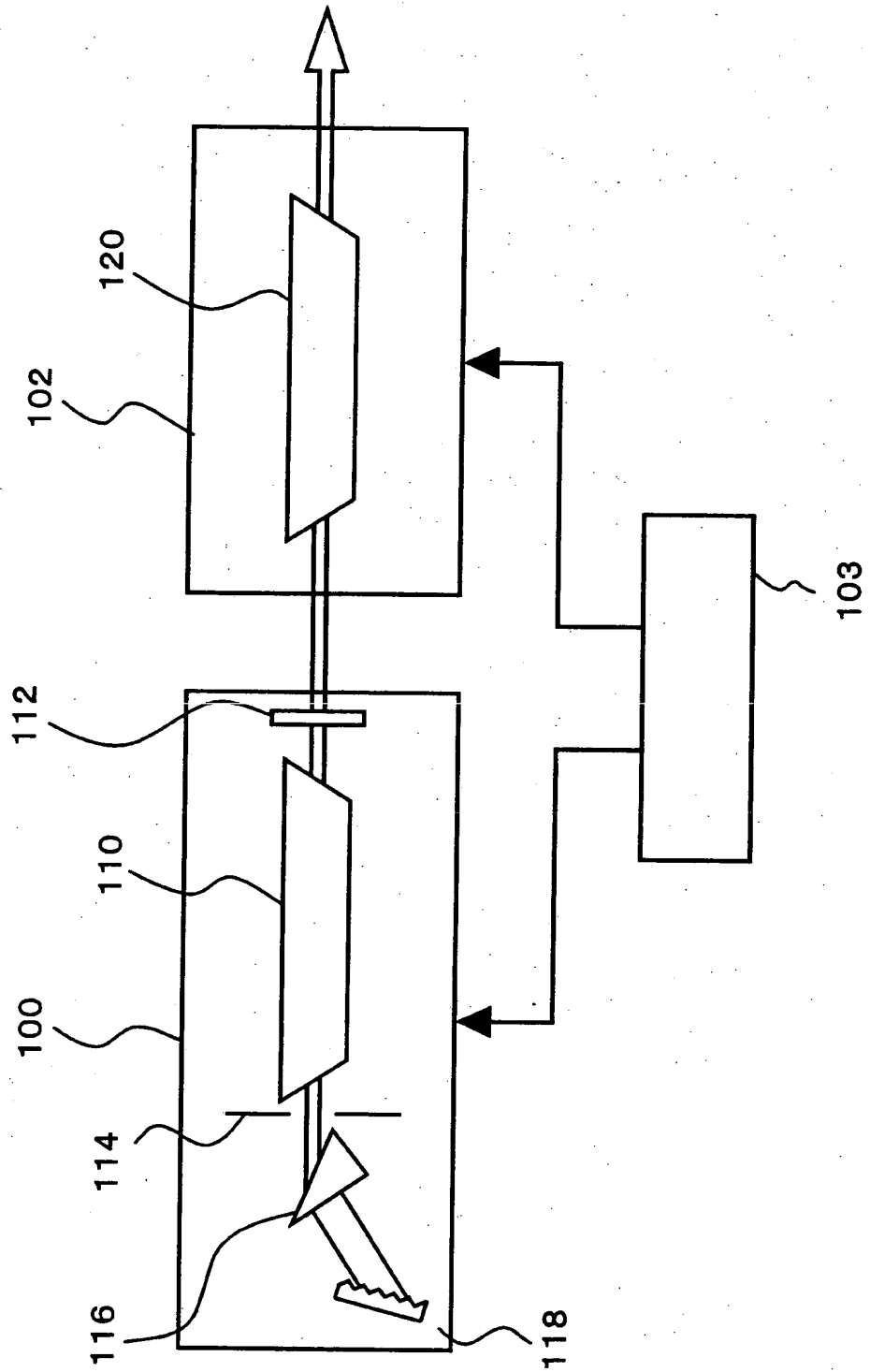
【図 6】



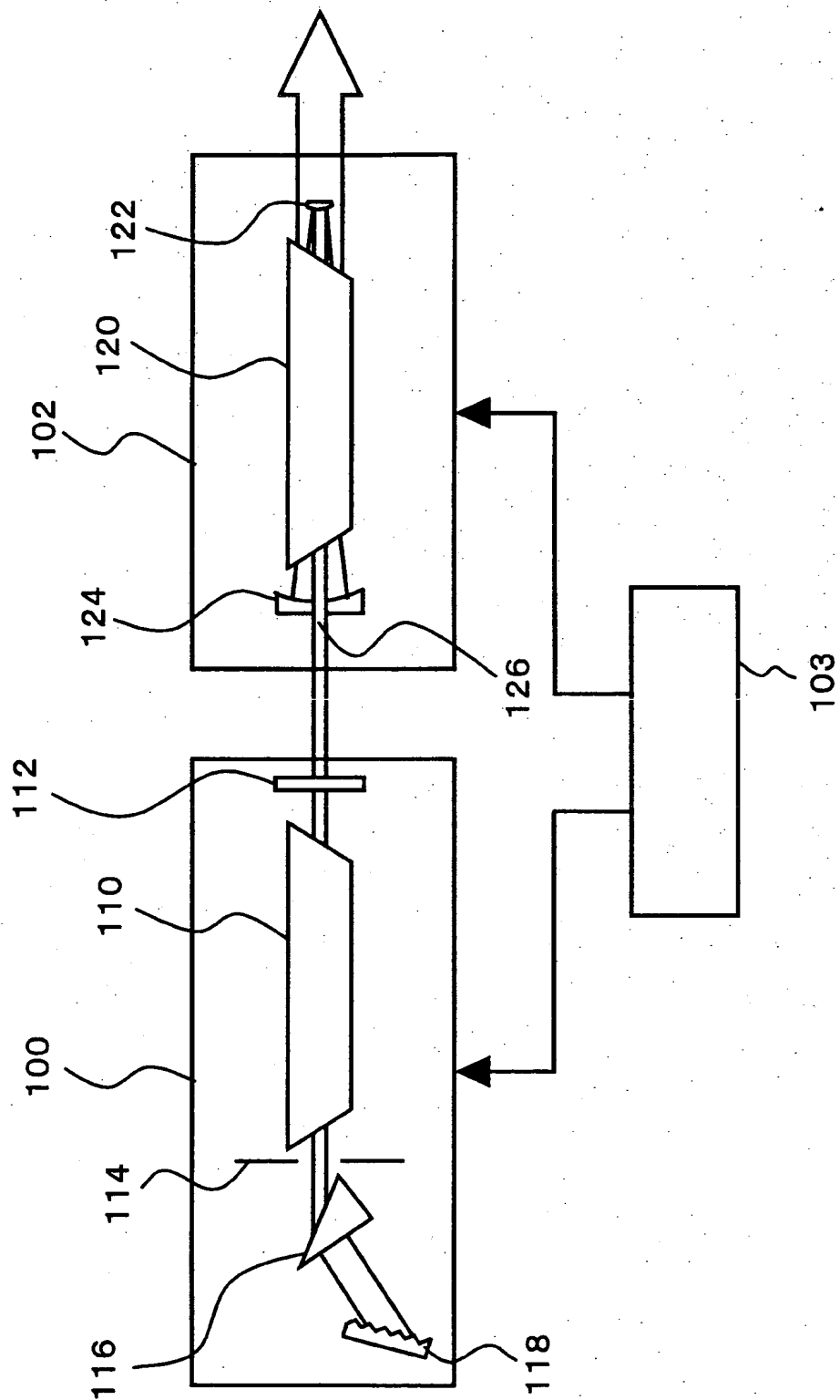
【図7】



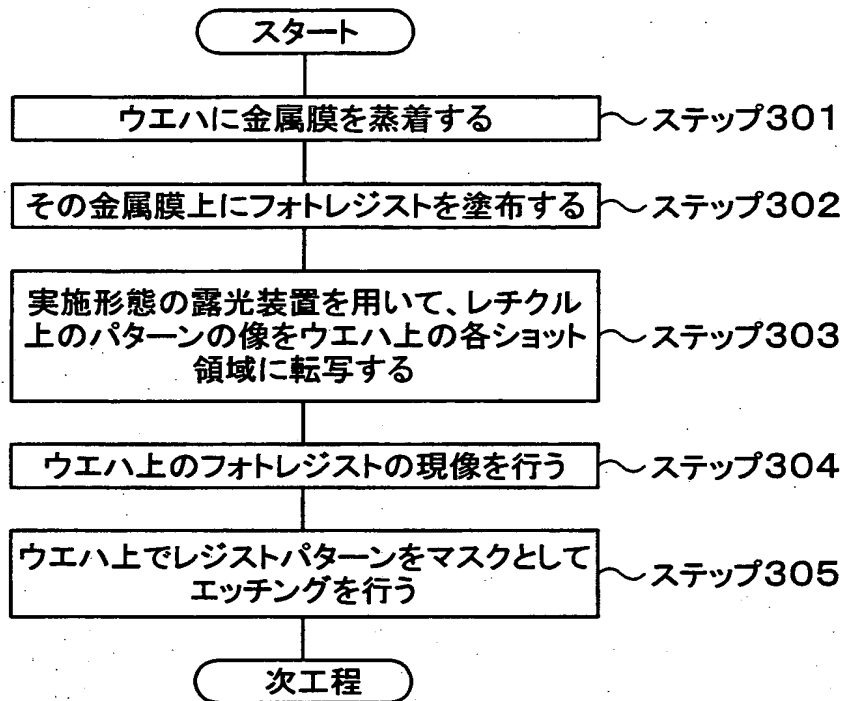
【図 8】



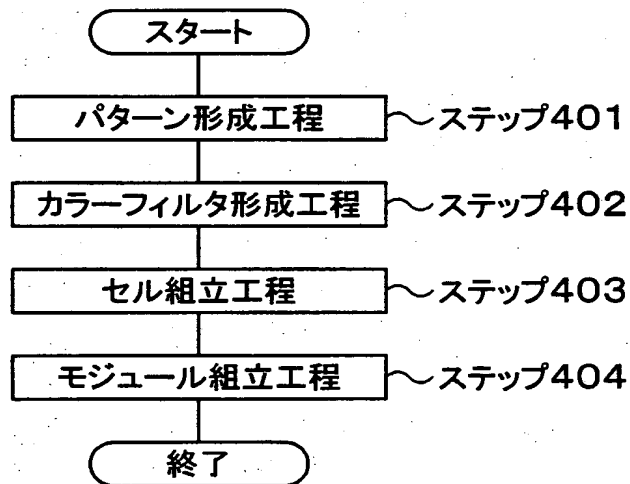
【図9】



【図 1 0】



【図 1 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高コスト化を招くことなく、良好に色収差補正され、微細なパターンを高解像に投影可能な投影光学系を提供すること。また、極微細化された投影原版のパターンの像を基板に良好に投影露光可能な投影露光装置及び投影露光方法を提供すること。

【解決手段】 少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含み、第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 1$ とし、第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径を $M \times 2$ とし、 $M \times 1$ が $M \times 2$ より大きいとき、

$$0.4 < M \times 2 / M \times 1 < 0.87$$

を満足することを特徴とする屈折型の投影光学系を提供する。また、前記投影光学系と、自然発振時に対して狭帯化された露光光を供給する狭帯化光源と、を含む投影露光装置を提供する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏 名 株式会社ニコン